



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06276154 A**(43) Date of publication of application: **30.09.94**

(51) Int. Cl.

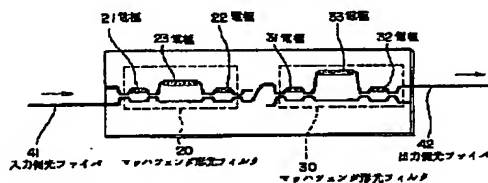
**H04B 10/04****G02B 5/28****G02F 1/35****H04B 3/06****H04J 14/02**(21) Application number: **05060047**(22) Date of filing: **19.03.93**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>**(72) Inventor: **TOBA HIROSHI  
ODA KAZUHIRO  
INOUE YASUSHI**(54) **OPTICAL GAIN EQUALIZING CIRCUIT**

## (57) Abstract:

**PURPOSE:** To obtain an optical gain equalizing circuit whereby a sufficient transmission characteristic is secured even when the number of stage in an optical amplifier is large and even when the umbalance of the gain is large.

**CONSTITUTION:** First and second Much-Zehnder-shape filters 20 and 30 with mutually different change cycles on the wave-length (or optical frequency) axis of transmissivity are continuously connected. Thus, the nonuniformity of a gain wave-length (or optical frequency) characteristic which cannot be flattened by the first Much-Zehnder-shape optical filter 20 can be flattened by the second Much-Zehnder-shape optical filter 30 with the change cycle on the wave-length (or optical frequency) axis of transmissivity, being different from that of the above first Much-Zehnder-shape optical filter 20.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&amp;Japio



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-276154

(43)公開日 平成6年(1994)9月30日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/04				
G 0 2 B 5/28		8507-2K		
G 0 2 F 1/35	5 0 1	9316-2K		
		8523-5K	H 0 4 B 9/ 00	S
		8523-5K		E
審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平5-60047

(22)出願日 平成5年(1993)3月19日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 鳥羽 弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 織田 一弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 井上 恭

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

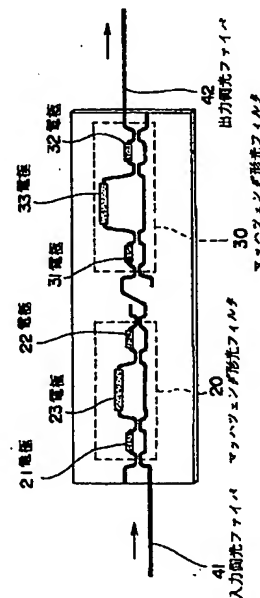
(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

(54)【発明の名称】 光利得等化回路

(57)【要約】

【目的】 光増幅器の段数が多い場合やその利得のアンバランスが大きい場合でも良好な伝送特性を確保できる光利得等化回路を提供する。

【構成】 透過率の波長(又は光周波数)軸上における変化周期が互いに異なる第1及び第2のマッハツェンダ形光フィルタ20及び30を縦続接続することにより、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20では平坦化しきれなかった利得波長(又は光周波数)特性の不均一性を、該第1のマッハツェンダ形光フィルタ20とは透過率の波長(又は光周波数)軸上における変化周期が異なる第2のマッハツェンダ形光フィルタ30で平坦化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長が互いに異なる複数の多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器の利得波長特性を平坦化する光利得等化回路において、透過率の波長軸上における変化周期が互いに異なる少なくとも2個のマッハツェンダ形光フィルタを縦続接続してなることを特徴とする光利得等化回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光波長（又は光周波数）多重伝送方式に用いられる光利得等化回路に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光波長（又は光周波数）多重伝送方式とは、1本の光ファイバに、情報の乗った波長（又は光周波数）が互いに異なる複数の信号光を多重化し、伝送する方式である。前記方式に、多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器を適用すると、伝送系の送受信レベル差が改善され、長距離伝送系における伝送距離の拡大や情報分配伝送系における分配数の増大が可能となる。

【0003】 ところで、一般に、光増幅器の利得は波長によって一定でないことから、波長多重化された信号光を一括して増幅する場合、増幅後の光レベルは波長によって異なり、特に複数の光増幅器を透過した信号光ではこの光レベルの差が累積する。この結果、受信端において多重化された信号光を分波して受信する際、光レベルが波長によって異なり、特に光レベルの低いチャネルにおいては、チャネル間クロストークの増加やSN比の劣化が生じ、受信感度が劣化するという問題があった。

【0004】 前述した光増幅器の利得の波長依存性を補償する方法としては、従来、可変透過率特性を有する可\*

$$T \approx 1 - A \cdot \cos^2 \{ (\lambda - \lambda_0) \pi / \Delta \lambda \} \dots\dots(1)$$

と表される。但し、ここで、 $\lambda$ は動作波長、 $\lambda_0$ は本光利得等化回路の透過率が最小値となる中心波長、 $A$ は $0 < A \leq 1$ を満たす実数である。この透過率特性は周期 $\Delta \lambda$ の周期性を有している。

【0008】 図3は前記光利得等化回路の透過率特性を示すものである。ここで、位相調整用電極6a及び7aのバイアス電流を調整することにより、前記(1)式の $A$ を変化させることができ、実線11で示された原透過率特性の利得補償量を破線12で示すように調整することが可能である。また、電極4aのバイアス電流を調整することにより、前記(1)式の $\lambda_0$ を変化させることができ、透過率特性の中心波長を一点鎖線13で示すように調整することが可能である。

【0009】 図4は前記文献2に掲載された利得等化のようすを示すものである。ここでは光波長1548nmから1556nmを占有する波長間隔0.08nm（光周波数間隔10GHz）で多重化された100チャンネルの信号光を、

\* 同調マッハツェンダ形光フィルタを光利得等化回路として用いて光波長多重信号出力を平坦化した例がある（文献1：K.Inoue, T.Kominato, and H.Toba, "Tunable gain equalization using a Mach-Zehnder optical filter in multi-stage fiber amplifiers" IEEE Photon. Technol. Lett., vol.3, No.8, pp.718-720, 1991、又は文献2：H.Toba, K.Nakanishi, K.Oda, K.Inoue, and T.Kominato, "A 100-channel optical FDM in-line amplifier system employing tunable gain equalizers" ECOC'92 論文集pp.113-116参照）。

【0005】 図2は前述した文献に掲載されている光利得等化回路を示すものである。図2(a)は光増幅器と光利得等化回路との接続態様を示すもので、光ファイバ1より光増幅器2に入力され、増幅されて出力された光波長多重信号の光レベルのアンバランスを光利得等化回路3により平坦化する如くなっている。

【0006】 図2(b)は光利得等化回路の詳細な構成を示すもので、長さの異なる2本の導波路4、5の入力側及び出力側をそれぞれ方向性結合器6及び7で接続したマッハツェンダ形光フィルタの構成を有している。前記入力側及び出力側の方向性結合器6及び7は対称型のマッハツェンダ干渉計の構造を有し、それぞれの位相調整用の電極6a及び7aへのバイアス電流を調整することにより、その結合効率を変化させることができる。電極6a及び7aとしては、例えばCrヒータを用いることができ、該電極6a及び7aに電流を流すことによって生ずる熱光学効果により位相を調整することが可能である。

【0007】 図2(b)において、入力側の光ファイバ8から出力側の光ファイバ9への透過率特性は、導波路損失やファイバ導波路間接続損失等の過剰損失を除いた場合、

多段接続されたアルミニウム共添加のエルビウム添加光増幅器で増幅した際のスペクトルを示す。

【0010】 図4の左側には光増幅器の入力スペクトルと、光利得等化回路を使用しない場合の3段目及び6段目の光増幅器の出力スペクトルとを示している。光利得等化回路を使用しない場合、光波長多重信号の光レベルのアンバランスは光増幅器の段数とともに増大することがわかる。また、図4の右側には図2に示した光利得等化回路を3段の光増幅器毎に挿入した場合の該光利得等化回路の出力スペクトルを示している。光利得等化回路を使用した場合、光波長多重信号の光レベルのアンバランスを、ある程度補償できることがわかる。

## 【0011】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、図4の右側に示した光利得等化回路有りのスペクトルを詳細にみると、3段目の光増幅器出力に対応したスペクトルはほぼ平坦な特性を示しているが、6段目の光増幅器出力

に対応したスペクトルは平坦性が劣化し、スペクトルの中心付近が盛り上がった、上に凸の特性となっていることがわかる。この平坦性の劣化傾向は光増幅器の段数の増加とともにさらに増大し、前述した光利得等化回路を用いても伝送特性が劣化するという問題があった。

【0012】本発明は前記従来の問題点に鑑み、光増幅器の段数が多い場合やその利得のアンバランスが大きい場合でも良好な伝送特性を確保できる光利得等化回路を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明では前記目的を達成するため、波長（又は光周波数）が互いに異なる複数の多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器の利得波長（又は光周波数）特性を平坦化する光利得等化回路において、透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が互いに異なる少なくとも2個のマッハツェンダ形光フィルタを縦続接続してなる光利得等化回路を提案する。

【0014】

【作用】マッハツェンダ形光フィルタは波長（又は光周波数）軸上において正弦波状に変化する透過率特性を有する。ところで、互いに異なる周期を有する複数の正弦波を重ねることにより、任意の波形を形成可能であることはフーリエ級数展開法から明らかである。そこで、透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が互いに異なる複数のマッハ・ツェンダ形光フィルタを縦続接続することにより、任意の透過率特性を実現することが原理的に可能である（なお、縦続接続するマッハツェンダ形光フィルタの段数は、要求される光増幅器出力の平坦性に応じて決定することになる。）。

【0015】本発明の光利得等化回路によれば、従来のマッハツェンダ形光フィルタを一段のみ用いた光利得等化回路では平坦化しきれなかった利得波長（又は光周波数）特性の不均一性が、1段目とは透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が異なる2段目以降のマッハツェンダ形光フィルタで平坦化される。

【0016】

【実施例】以下、実施例を用いて本発明を詳細に説明する。図1は本発明の光利得等化回路の一実施例を示すもので、図中、20は第1のマッハツェンダ形光フィルタ、30は第2のマッハツェンダ形光フィルタ、41は入力側光ファイバ、42は出力側光ファイバである。

【0017】マッハツェンダ形光フィルタ20及び30は透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が互いに異なるものであり、2段縦続に接続されている。各マッハツェンダ形光フィルタ20、30の構成は図2に示したものと基本的に同様であり、マッハツェンダ形光フィルタ20における電極21及び22並びにマッハツェンダ形光フィルタ30における電極31及び32は透過率特性の利得補償量を調整するためのものであ

り、また、マッハツェンダ形光フィルタ20における電極23並びにマッハツェンダ形光フィルタ30における電極33は各々の透過率特性の中心波長を調整するためのものである。

【0018】本実施例の具体的な作用を実測データを用いて説明する。図5は光増幅器の入出力スペクトルの実測値の一例を示すもので、ここでは波長1549.5nmから1559.8nmの帯域を有する光周波数間隔10GHzで多重化された128チャンネルの信号光を、アルミニウム共添加エルビウム添加光増幅器で増幅した際のスペクトルを示す。前記実測結果によれば、この使用波長帯域において、光増幅器の利得は長波長のチャンネルほど大きく、しかも利得の増加率は長波長になるに従って飽和する傾向を示していることがわかる。

【0019】図6は本回路による利得等化のようすを示すもので、図5から読取った光増幅器の利得スペクトルを曲線G1で示す。これに対し、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20として周期 $\Delta\lambda=25\text{nm}$ のものを選び、これを中心波長 $\lambda_0=1546.570\text{nm}$ 、 $A=1$ に調整すると、その透過率特性は図6中のF1で示される曲線となる。この結果、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20で補償された光増幅器の利得スペクトルは図6中のG2で示される曲線となり、右上りの利得の波長依存性は改善されるが、上に凸の波長特性となり、2.7dBの残留利得偏差が生じる。

【0020】ここで、さらに第2のマッハツェンダ形光フィルタ30として周期 $\Delta\lambda=7.5\text{nm}$ のものを選び、これを中心波長 $\lambda_0=1555\text{nm}$ 、 $A=0.46$ に調整すると、その透過率特性は図6中のF2で示される曲線となる。この結果、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20と第2のマッハツェンダ形光フィルタ30とで補償された光増幅器の利得スペクトルは図6中のG3で示される曲線となり、残留利得偏差は0.7dBに抑圧される。

【0021】このように透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期の異なる2種類のマッハツェンダ形光フィルタを用いることにより、利得の波長依存性を極めて平坦にすることが可能となる。

【0022】本実施例ではマッハツェンダ形光フィルタの直後に別のマッハツェンダ形光フィルタを縦続接続したが、両者を離して配置しても問題はない。また、本実施例では光増幅器の出力段にマッハツェンダ形光フィルタを配置したが、入力段に配置しても良い。

【0023】また、本実施例では変化周期の異なるマッハツェンダ形光フィルタを2段縦続接続して用いたが、光増幅器の利得の波長依存性によっては、変化周期の異なるマッハツェンダ形光フィルタをさらに複数、縦続接続して利得を平坦化することも可能である。

【0024】

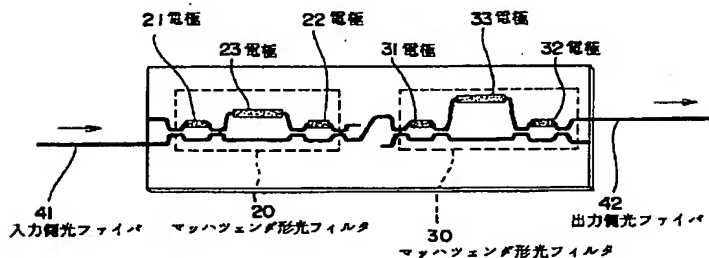
【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、光増幅器の利得の波長依存性を、光増幅器の段数やそのア

ンバランスの大きさに拘らず、適切に補償することができ、光波長多重信号の光レベルを極めて平坦にすることができ、従って、光波長（又は光周波数）多重伝送方式において光増幅器の段数を従来と比較して増大することができ、また、長距離伝送系においては伝送距離の拡大、情報分配伝送系においては分配数の増大が可能となる。また、光増幅器のみでなく、送受信回路間に存在する伝送路中の他の光回路の透過率特性の波長依存性についても本光利得等化回路により補償でき、波長特性を平坦化することが可能であることは言うまでもない。

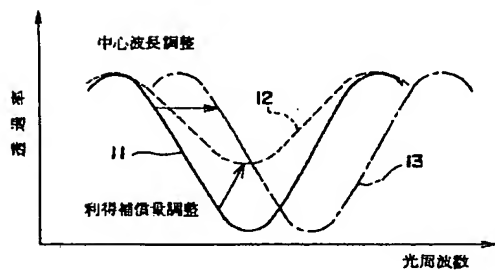
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光利得等化回路の一実施例を示す構成

【図1】



【図3】



図

【図2】従来の光利得等化回路の一例を示す図

【図3】従来の光利得等化回路の透過率特性を示す図

【図4】従来の光利得等化回路を用いた場合の光波長多重信号の増幅特性を示す図

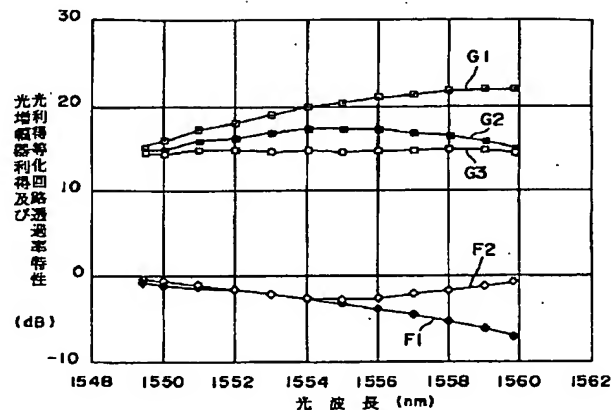
【図5】光増幅器の入出力スペクトルの実測値の一例を示す図

【図6】本回路による利得等化のようすを示す図

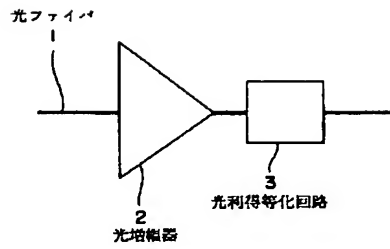
【符号の説明】

- 10 20…第1のマッハツェンダ形光フィルタ、30…第2のマッハツェンダ形光フィルタ、41…入力側光ファイバ、42…出力側光ファイバ。

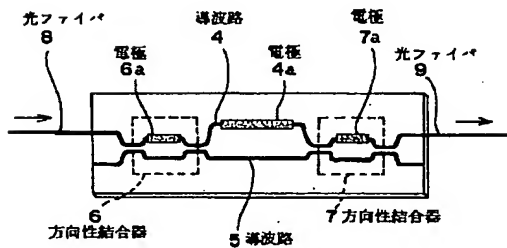
【図6】



【図2】

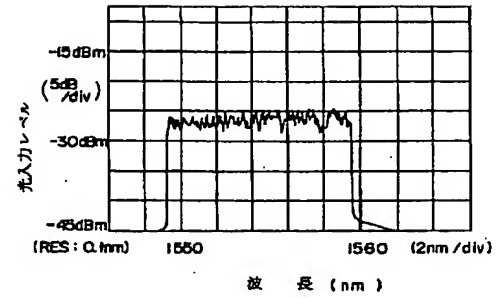


(a)

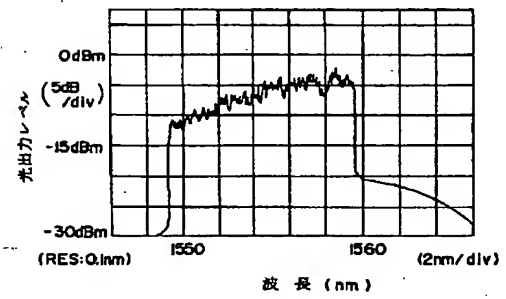


(b)

【図5】

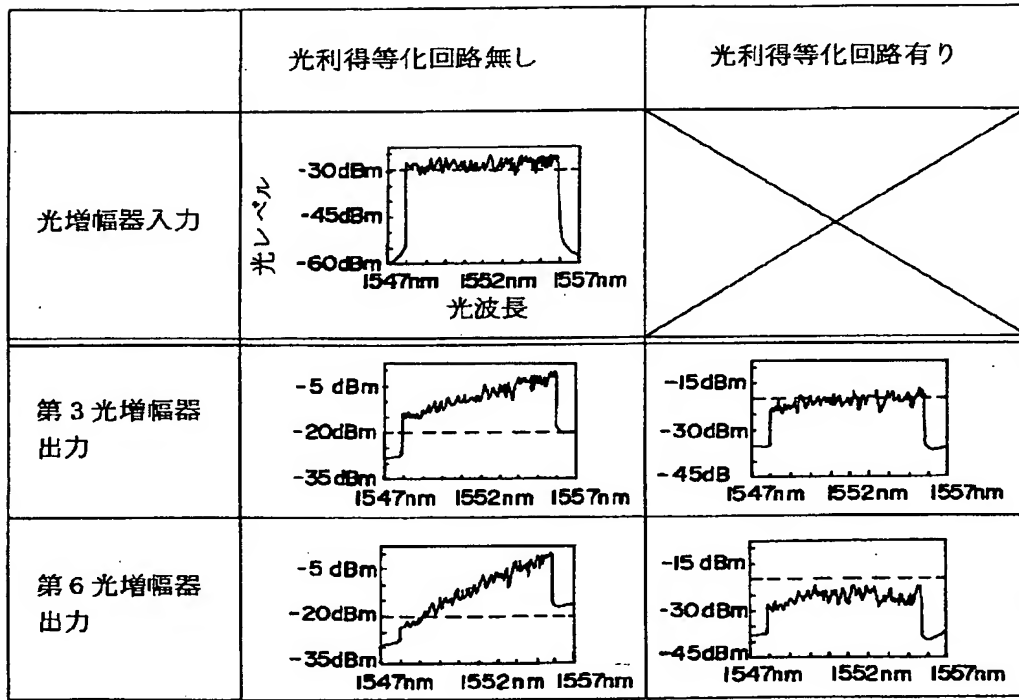


(a)



(b)

【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H04B 3/06

H04J 14/02

識別記号

庁内整理番号

A 7741-5K

FI

技術表示箇所